枣镰翅小卷蛾雄蛾对性信息素的行为反应

韩桂彪[1]，马瑞燕[1]，杜家纬[2]，李连昌[3]，胡　萃[4]

（1. 山西农业大学，太谷　030801；2. 中国科学院上海昆虫研究所，上海　200025；
3. 山西省农业科学研究院，太原　030031；4. 浙江农业大学植保系，杭州　310029）

摘要：在风洞中观察了枣镰翅小卷蛾 *Ancylis sativa* 雄蛾对合成性信息素不同组分（E9-12:Ac 和 Z9-12:Ac）的行为反应。E9-12:Ac 组分能够引起少量雄蛾（8.3%）完成从兴奋到接触诱芯并呈现交配企图的全部行为反应，而雄蛾对 Z9-12:Ac 组分无反应。E9-12:Ac + Z9-12:Ac 混合物中前者占 60%～65%效果最好，能使 71.7%～76.7%雄蛾到达诱芯并呈现交配企图。E9-12:Ac 与 Z9-12:Ac 为 6.5:3.5 时，200 ng～2 000 ng 的剂量效果最好，有 76.7%～81.7%雄蛾到达诱芯。

关键词：枣镰翅小卷蛾；性信息素；风洞；行为反应
中图分类号：Q965　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296（2001）02-0176-06

风洞作为一项有效的研究手段已广泛应用于飞行昆虫的定向行为研究[1,2]，尤其是在雄蛾对同种雌蛾性信息素的定向飞行行为研究中得到更多的有效应用。此外也常用于对交配干扰过程的评价[3]和合成化合物对定向行为的抑制作用研究[4]。

枣镰翅小卷蛾 *Ancylis sativa*，又名枣粘虫，是我国枣树的一种重要害虫。其雌蛾释放的性信息素主要组分为反-9-十二碳烯醋酸酯（E9-12:Ac）和顺-9-十二碳烯醋酸酯（Z9-12:Ac），经大田生测证明两种化合物相混合有强烈的诱蛾活性[5]。

尽管田间试验对性信息素活性的估价起决定性作用，但很难详细观察雄蛾对雌蛾性信息素的行为反应过程，风洞实验则可以解决此类问题。利用风洞观察雄蛾对人工合成的雌蛾信息素组分的行为反应结果有利于深入了解种的通讯系统[6]。

本文报道枣镰翅小卷蛾雄蛾在风洞中对单组分、不同比例和剂量的人工合成性信息素行为反应的研究结果。

1　材料与方法

1.1　试验昆虫

试验用的枣镰翅小卷蛾采自山西省太谷县北沙河村枣树上的第 2 代老熟幼虫，接种在实验室水培的枣树枝叶上饲养至化蛹，蛹在解剖镜下按雌雄分开，取 100～200 头雄蛹为一组分别置于 40 cm×20 cm×15 cm 的羽化笼中，在光周期为 14L:10D、温度为（28±1)℃、相对湿度为（85±10)% 的条件下待其羽化。每日将羽化的雄蛾取出并供以 10%蔗糖溶液。

基金项目：山西省青年基金资助项目（961011），在中国科学院上海昆虫研究所完成
收稿日期：1999-05-17；接受日期：1999-09-20

1.2 性信息素

试验用的枣镰翅小卷蛾性信息素合成样品 E9-12:Ac 和 Z9-12:Ac 由中国科学院上海有机化学研究所和上海昆虫研究所提供，纯度均大于 95%。先以重蒸正己烷配制成 1 μg/μL 的母液，然后以同一溶剂稀释成所需的浓度和比例（均经 Hp-5890 型带无分流进样装置的 GC 分析检测）。

1.3 诱芯

诱芯载体为直径 5 mm 的圆形滤纸片，每次试验前将相应剂量及比例的溶液滴于载体上，室温下放置 10 min 待溶剂挥发后使用，每个诱芯只使用一次。

1.4 风洞

所有试验均在中国科学院上海昆虫研究所昆虫化学生态实验室的大型风洞内完成。风洞外壳由 0.6 cm 厚的有机玻璃制成，呈拱门式，长 250 cm，高和宽各 96 cm，上半部圆形，半径为 48 cm。采用 SW-CJ-LB 标准型净化工作台（苏州净化设备厂产品）作为供风装置，室内空气经预滤器初滤后由小型离心风机压入静压箱，再经高效过滤器过滤后进入风洞。进入风洞的气流速度为 0.3 m/s。风洞下风端装有排气扇将带有化合物的气流排出室外。风洞内光强度为 0.3 lx。室温（28±1)℃，相对湿度（85±10)%。

1.5 行为测试

将羽化 2～3 天的待试雄蛾单头置于直径 5 cm、高 5 cm 的圆柱形玻璃筒内，两端盖尼龙网罩。进入暗期 7～8 h（此时为雄蛾求偶高峰）后，移入风洞条件下适应半小时。每头雄蛾只使用一次。诱芯置于距上风端 20 cm，高 20 cm 的支架上。在距下风端 20 cm 处置一高 28 cm、直径 10 cm 的钢丝筒，钢丝筒上端封闭，受试雄蛾置于其上。试验时将诱芯封闭在小瓶内带入风洞，至上风端侧门处取出置于诱芯支架上。随即引入单头雄蛾到释放点支架上，任其反应 2 min，如无反应则换下一头雄蛾试验，如雄蛾起飞但反向飞出风洞或触及风洞任何一壁停留时间超过 5 s 均视为结束试验而换下一头雄蛾试验。每个处理重复 3 次，每次重复 20 头雄蛾，结果经百分率开方的反正弦转换后进行齐性显著性分析。

1.6 判断雄蛾对刺激物反应的行为标准

用于判断雄蛾对刺激物反应的六个行为标准是：兴奋（ACT），包括爬行、振翅；起飞（TO）；定向（OR）；在气迹中逆风定向飞行超过 1/2 距离（1/2UP）；在诱芯或支持物上降落（LD）；伸出毛刷呈现交配企图（DIS）。

2 结果与分析

2.1 雄蛾对性信息素组分的反应

表 1 列出了枣镰翅小卷蛾雄蛾在引入性信息素气流中 2 min 内的潜伏期（从引入信息素气流中到开始振翅），振翅持续时间（从振翅到开始飞行）以及降落到性信息素源和呈现交配企图的百分率。雄蛾对二组分混合物（E9-12:Ac + Z9-12:Ac）开始振翅反应所需的时间明显短于对单个主级组分 E9-12:Ac 开始振翅反应的时间；但两者之间的振翅持续时间无显著差异；混合组分与单个主级组分引起雄蛾降落到性信息素源和呈现交配企图的百分率都有显著差异；雄蛾对单个次级组分 Z9-12:Ac 不呈现任何行为反应。

表 1 雄蛾对合成性信息素不同组分的行为反应*

Table 1 Behavioural response of male *A. sativa* to different components in synthetic pheromone

组分 Components	潜伏期(s) Latent period	振翅百分率(%) Fanning	振翅持续期(s) Fanning duration	降落百分率(%) Landing	呈现交配状(%) Hairpencil display
E9-12:Ac	15.1 ± 0.4 a	100.0 a	17.0 ± 0.7 a	38.3 ± 2.0 b	8.3 ± 0.2 b
Z9-12:Ac	—	—	—	—	—
E9-12:Ac + Z9-12:Ac (6.5:3.5)	3.8 ± 0.3 b	100.0 a	15.8 ± 0.5 a	81.7 ± 3.1 a	76.7 ± 3.6 a

* 表中数据为平均值 ± 标准误，数据后不同字母表示在 $P \leqslant 0.05$ 水平上差异显著（下同）；三种处理所用剂量均为 200 ng；“ – ” 表示无反应

The data in the table are mean ± *SE*. Means in the same column followed by different letters are significantly different at $P \leqslant 0.05$ (the same as below). The pheromone in each treatment is 200 ng. “ – ” shows no response

雄蛾对性信息素混合组分和单个主级组分 E9-12:Ac 定向飞行行为反应见图 1。除起飞外，枣镰翅小卷蛾雄蛾对混合组分的逆风飞行和降落到性信息素源上的反应百分率都明显高于对单个主级组分的相应值。

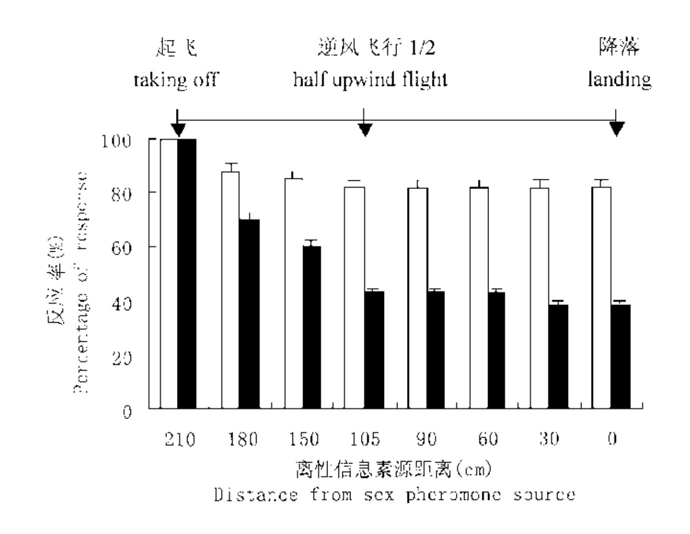


图 1 雄蛾对性信息素不同组分的飞行行为反应

Fig. 1 Behavioural response of male *A. sativa* flight towards different pheromone components

□ E9-12:Ac + Z9-12:Ac; ■ E9-12:Ac

2.2 对性信息素粗提物和合成性信息素二组分不同比例的行为反应

以雌蛾性信息素腺体粗提物以及 E9-12:Ac + Z9-12:Ac 不同比例配制的诱芯进行试验（剂量均为 200 ng），雄蛾的行为反应如表 2。供测试的雌蛾腺体粗提物和性信息素两组分的 5 种比例均能引起全部雄蛾起飞。从到达诱芯并呈现交配企图的百分率来看，雄蛾对二组分比率的反应是不同的。E:Z 为 6:4～6.5:3.5，它们均有较高的行为反应（71.7%～76.7% 呈现交配企图），超过此范围，呈现交配企图的比例明显降低（40%～50%）。

表 2　雄蛾对性信息素粗提物和 E9-12:Ac + Z9-12:Ac（E:Z）不同比例的行为反应（%）

Table 2　Behavioural response of male *A*. *sativa* to extract from female glands and different ratios of E9-12:Ac to Z9-12:Ac (E:Z)

性信息素 Sex pheromone（E:Z）	起飞 TO	定向 OR	逆风飞行 1/2 距离 1/2UP	降落 LD	呈现交配企图 DIS
粗提物，EFG	100 a	73.3 b	55.0 b	45.0 c	41.6 c
8:2	100 a	73.3 b	53.3 b	45.0 c	40.0 c
7:3	100 a	86.6 a	76.6 a	60.0 b	50.0 b
6.5:3.5	100 a	88.3 a	81.6 a	81.7 a	76.7 a
6:4	100 a	88.3 a	81.6 a	76.7 a	71.7 a
4:6	100 a	20.0 c	15.0 c	0	0

EFG = extract from 3 female glands; TO = taking off; OR = orientation flight; 1/2UP = half upwind flight; LD = landing; DIS = displaying hairpencil

2.3　剂量反应试验

据上述试验结果，选取 E:Z = 6.5:3.5 制成不同剂量的试验诱芯，剂量试验范围为20～20 000 ng，结果如图 2。雄蛾对 20～20 000 ng的性信息素均有反应。剂量为 200 ng 时反应最强烈，2 000 ng时次之，两者间差异不显著（$P > 0.05$）。以到达诱芯的的百分率作为指标，它们对上述两剂量的反应百分率均显著高于其它剂量（$P < 0.05$）。

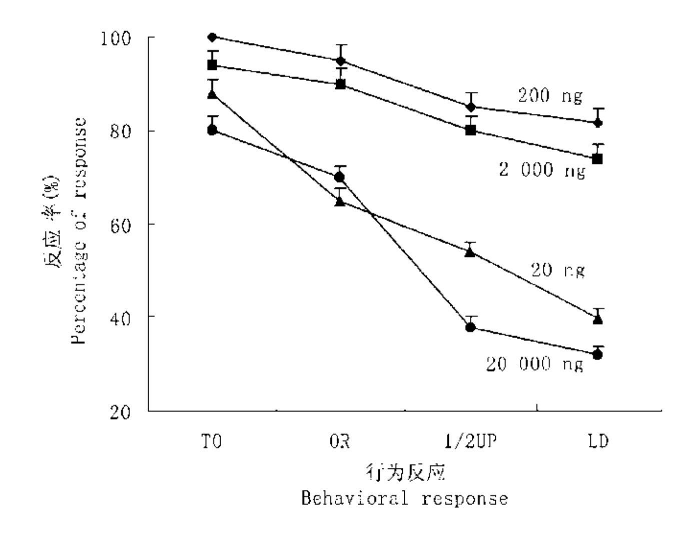


图 2　枣镰翅小卷蛾雄蛾对不同剂量性信息素的行为反应

Fig. 2　Behavioural response of male *A*. *sativa* to different dosages of sex pheromone

3　讨论

风洞生测结果表明，由人工合成的 E9-12:Ac 和 Z9-12:Ac 组成的混合物诱导的枣镰翅小

卷蛾雄蛾行为反应明显大于其单个组分。对红带卷叶蛾 *Argyrotaenia velutinana* 的风洞行为试验结果表明，含完全性信息素组分的混合物诱导的雄蛾行为反应百分率明显大于其部分组分混合物或单个组分[7]，类似的结果还见于小眼夜蛾 *Panolis flammea*[8]等种类中，说明在蛾类性信息素系统中，性信息素的完整性起着非常重要的作用。

单一组分 E9-12:Ac，尽管能够诱导少量雄蛾完成从起飞到呈现交配企图的行为反应，但试验中发现雄蛾定向时，左右、前后和上下摆动幅度明显较其对二组分诱芯及粗提物诱芯大，而且逆风飞行的轨迹范围也较宽，也就是说它需要较大范围的探测和及时调整偏差才能正确定向。对二组分混合物及雌性腺体粗提物诱芯的反应则不同，雄蛾定向波动范围小，有时甚至定向与逆风飞行融为一个连续而不易区分的过程，看来就像没有静态定向的步骤而直接逆风飞行，在逆风飞行过程中，雄蛾趋向诱芯的直线程度也较高，偏差幅度较小。

试验表明，性信息素组分间的比例对枣镰翅小卷蛾雄蛾的行为反应有明显的影响，以单腺体毛细管色谱分析测定的枣镰翅小卷蛾雌蛾性信息素二元组分自然比例（E:Z＝6.5:3.5）制成的诱芯引起的雄蛾行为反应百分率最高，这与其它一些种类的试验结果类似，如红带卷叶蛾 *A. velutinana* 雄蛾对94:6和90:10的Z11-14:Ac和E11-14:Ac混合物（雌蛾产生的比例为Z:E＝91:9）的行为反应百分率高于其它比例[9]；一种黄卷蛾 *Archips semiferamus* 雄蛾对34:66的Z11-14:Ac和E11-14:Ac的混合物（雌蛾产生的Z:E＝33:67）的行为反应百分率高于40:60或30:70的混合物[10]。而对于另一些种类来说，雄蛾对较宽比例的混合物或与雌蛾产生的比例相差很大的混合物都能作出较好的反应，例如棉红铃虫 *Pectinophora gossypiella* 对67:33、70:30和40:60的Z，Z-7，11-16:Ac和Z，E-7，11-16:Ac混合物都能作出较好的反应（雌蛾产生的比例为Z，Z-7:Z，E-7:Ac＝66:34[11]），这说明种类之间具有差异。

从剂量反应曲线看，枣镰翅小卷蛾雄蛾对人工合成的性信息素（E:Z＝6.5:3.5）反应最佳值在200～2 000 ng范围内，这与作者的田间试验结果类似。但在20 000 ng剂量下的反应显著降低，分析原因可能是由于风洞条件下空间较小，气流平稳，而且试验只局限在一个较短时间内。田间条件下则有所不同，空间大，气流变化大，试验时间是整个夜晚，诱芯浓度在时间和空间上都有可能得到稀释，这样在自然条件下适应范围更广些就不足为怪了。

枣镰翅小卷蛾雄蛾在风洞中对人工合成性信息素样品呈现典型的锯齿形逆风飞行。雄蛾在性信息素作用下表现的这种飞行行为随着试虫本身生理状态和环境因子的变异而变化，如环境温度、风速、诱芯的材料等都影响雄蛾的定向和飞行轨迹，这些因子对枣镰翅小卷蛾飞行行为和飞行轨迹的作用有待于今后进一步研究。

参 考 文 献（References）

[1] Carde R T. Chemo-orientation in flying insects. In: Bell W J, Carde R T eds. Chemical Ecology of Insect. Londen: Chapmar and Hall, 1984. 111～124

[2] Miller J R, Roelofs W L. Sustained flight tunnel for measuring insect responses to windborne sex pheromones. J. Chem. Ecol., 1976, 4: 187

[3] Sanders C J. Disruption of male spruce budworm orientation to calling females in a wind tunnel by synthetic pheromone. J. Chem. Ecol., 1982, 8: 493～506

[4] Preiss R, Priesner E. Responses of male codling moths (*Laspeyresia pomonella*) to codlemone and other alcohol in a wind

tunnel. J. Chem. Ecol.，1988，4：797～813

［5］ 林国强，郭广忠，吴元伟等. 昆虫信息素的结构鉴定与合成（ⅩⅤ）——枣镰翅小卷蛾的复合性信息素. 科学通报，1984，29：306～308

［6］ Baker T C，Carde R T. Techniques for behavioral bioassays. In：Hummel H E，Miller T A eds. Techniques in Pheromone Research. New York：Springer-Verlag，1984. 45～73

［7］ Linn C E，Campbell M G，Roelofs W L. Male moth sensitivity to multicomponent pheromones. J. Chem. Ecol.，1986，12：659～668

［8］ Quartey G K，Coaker T H. Role of sex pheromone components in the orientation behaviour of *Ephestia cautella*. Entomol. Exp. Appl.，1993，66：237～245

［9］ Roelofs W L，Carde R T. Responses of Lepidoptera to synthetic sex pheromones and their analogues. Ann. Rev. Entomol.，1977，22：377～405

［10］ Miller J R，Baker T C，Carde R T. Reinvestigation of oak leafroller moth sex pheromone component and the hypothesis that they vary with diet. Science，1976，192：140～143

［11］ Flint H M，Smith R L，Forey D E *et al*. Pink bollworm：response of males to（Z，Z）&（Z，E）isomers of gossyplure. Environ. Entomol.，1977，6：274～275

Behavioural response of male *Ancylis sativa* to sex pheromone

HAN Gui-biao[1]，MA Rui-yan[1]，DU Jia-wei[2]，LI Lian-chang[3]，HU Cui[4]

（1. Shanxi Agricultural University，Taigu 030801，China；2. Shanghai Institute of Entomology，the Chinese Academy of Sciences，Shanghai 200025，China；3. Shanxi Academy of Agricultural Sciences，Taiyuan 030031，China；4. Department of Plant Protection，Zhejiang Agricultural University，Hangzhou 310029，China）

Abstract: The behavioural response of individual male *Ancylis sativa* Liu to synthetic sex pheromone components，E9-12∶Ac and Z9-12∶Ac was observed in a wind tunnel. The lures containing only E9-12∶Ac could stimulate some males（8.3%）to perform all the typical behaviours including exiciting，taking off，flying upwind，landing on the lure and exhibiting their hairpencils，while none of them showed any response to another component，Z9-12∶Ac. 71.7%～76.7% of the males displayed their hairpencils in response to the mixture of these two components（E accounting for 60%～65%）. The pheromone（E∶Z＝6.5∶3.5）from 200 ng to 2 000 ng per lure caused more male response than that of 20 ng or 20 000 ng.

Key words: *Ancylis sativa*；sex pheromone；wind tunnel；behavioural response